



Prijelazni instrument
Europske unije za Hrvatsku

STRATEGIJA PRILAGODBE KLIMATSKIM PROMJENAMA

*Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike
za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema
Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama*

www.prilagodba-klimi.hr



REPUBLIKA HRVATSKA
MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE

eptisa
Adria d.o.o.



Prijelazni instrument, Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama

Klima i klimatsko modeliranje

Čedo Branković

cedo.brankovic@cirus.dhz.hr

Zagreb, 3. travnja 2017. (Dubrovnik)



REPUBLIKA HRVATSKA

MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE



eptisa
Adria d.o.o.

Sadržaj

1. Klima i klimatske promjene
2. Opažene klimatske promjene, klimatska varijabilnost i ekstremi
3. Klimatski modeli i modeliranje klime
4. Neki rezultati klimatskog modeliranja





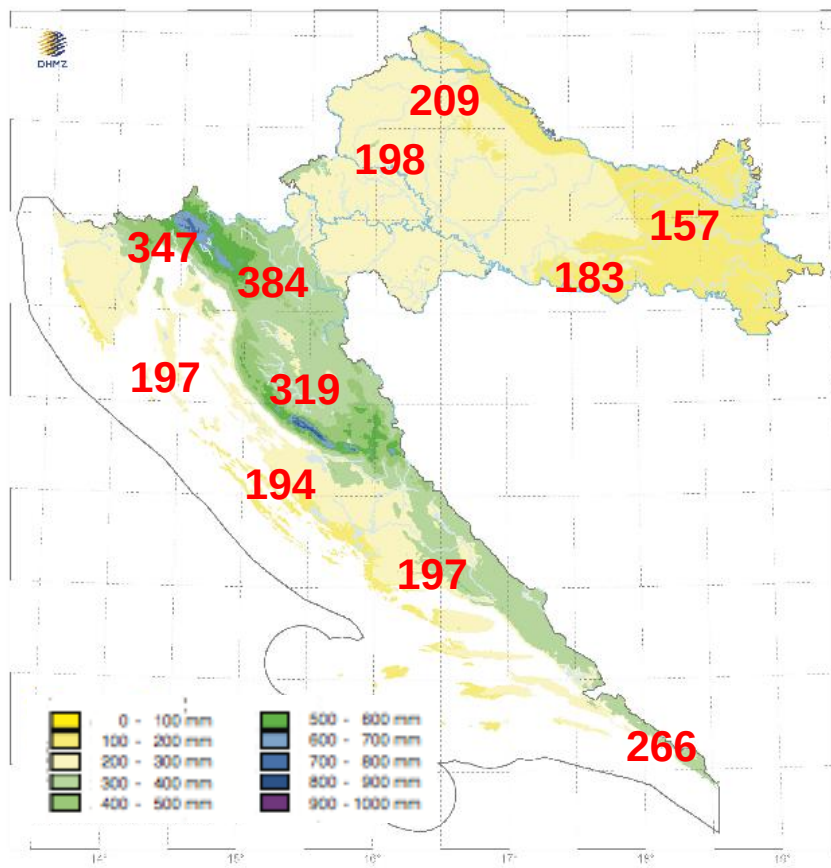
Klima – neke definicije

- * **Klimu** nekog područja definiramo kao skup **srednjih ili očekivanih vrijednosti meteoroloških elemenata i pojava (osrednjeno vrijeme)**
- * Klima se definira za razdoblje od **najmanje 30 godina** (preporuka WMO)
- * Klima se klasificira prema vrijednostima **srednjaka** i tipičnog **raspona** vrijednosti klimatskih elemenata → kontinentalna, planinska, primorska, oceanska, pustinjska, tropska, monsunaska, arktička, itd.
- * **Na klimu utječu:** Sunčevo, Zemljino i atmosfersko zračenje, oceanske i zračne struje, zemljopisna širina, razdioba kopna i mora, reljef, nadmorska visina, udaljenost od mora ili većih vodenih površina, razdioba kopnenog i morskog leda, sastav tla, biljni pokrov, **djelovanje čovjeka**
- * Klima je samo **“vanjska”** manifestacija klimatskih procesa, dinamike i međudjelovanja komponenata klimatskog sustava: atmosfera, oceani, ledeni pokrov, tlo, vegetacija, ...
- * Elementi vremena ujedno su i **elementi klime**

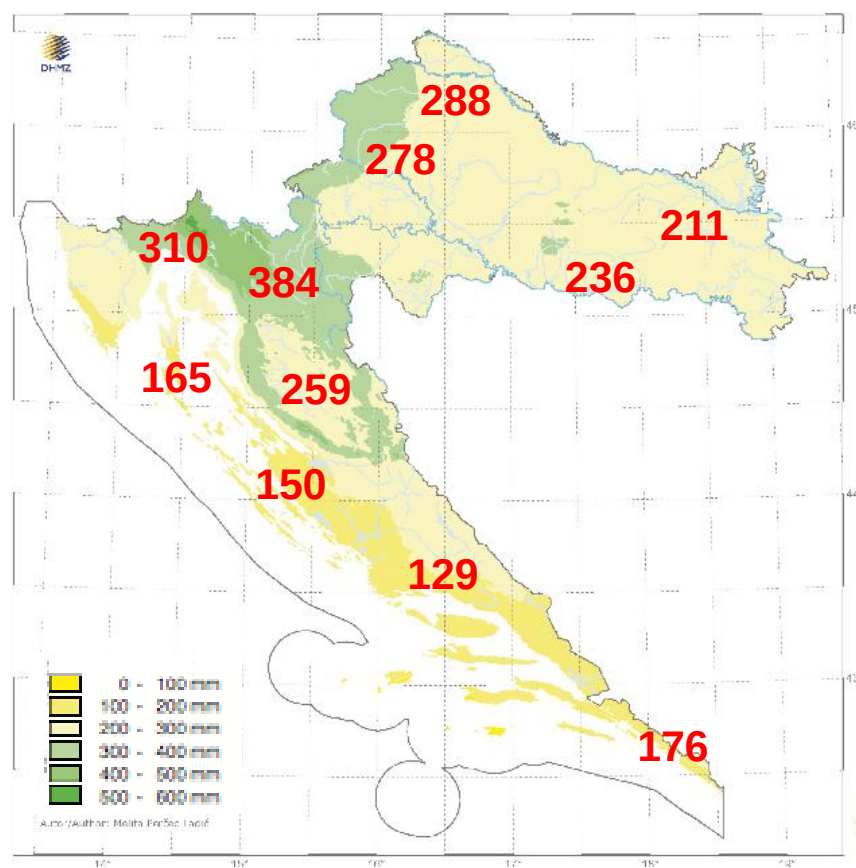


Klima Hrvatske za razdoblje 1961-1990

Srednja količina oborine u proljeće



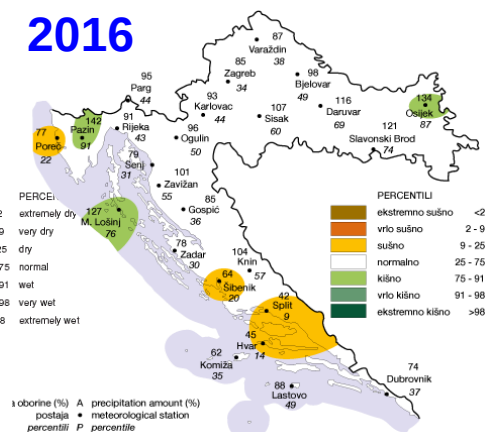
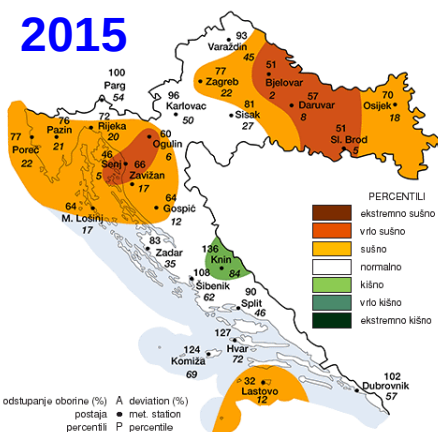
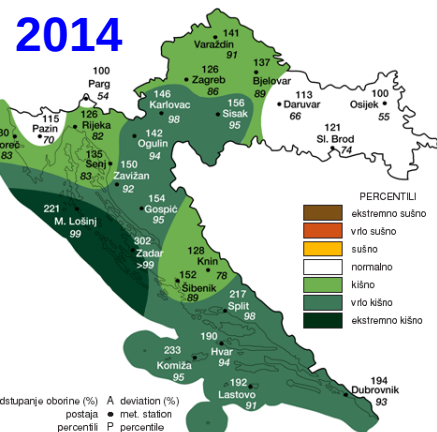
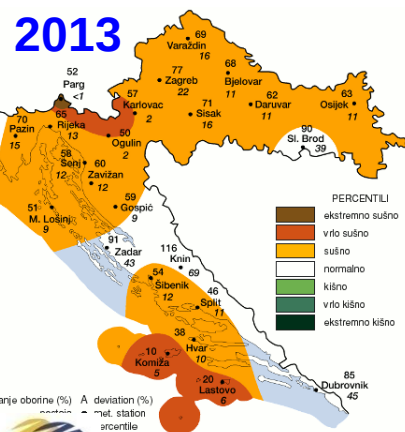
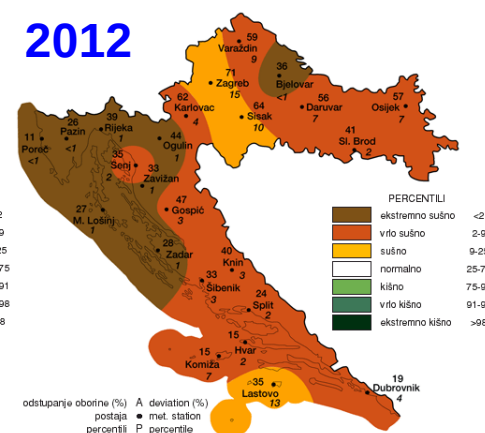
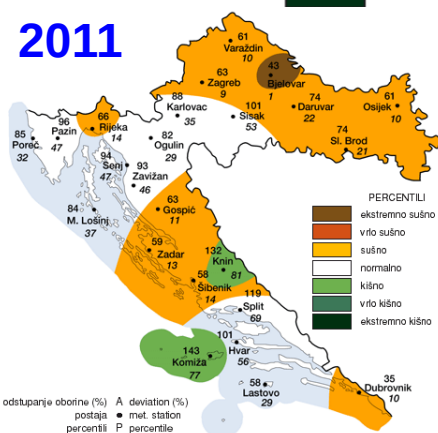
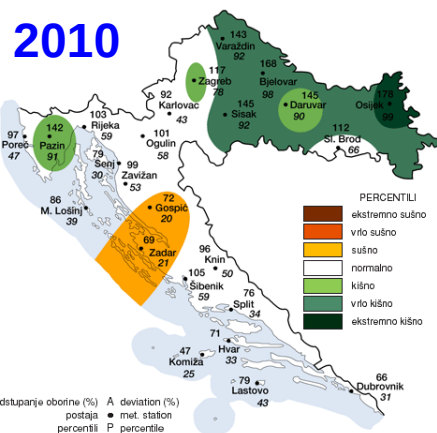
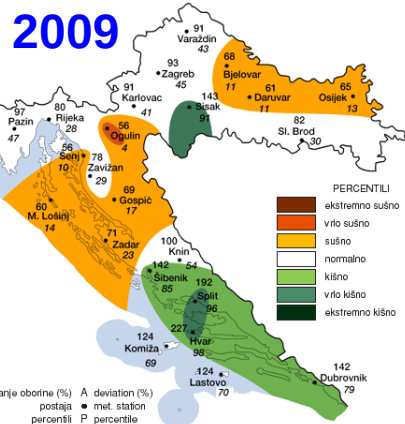
Srednja količina oborine u ljeto



Izvor: Zaninović i sur., Atlas klime Hrvatske (2008, DHMZ)

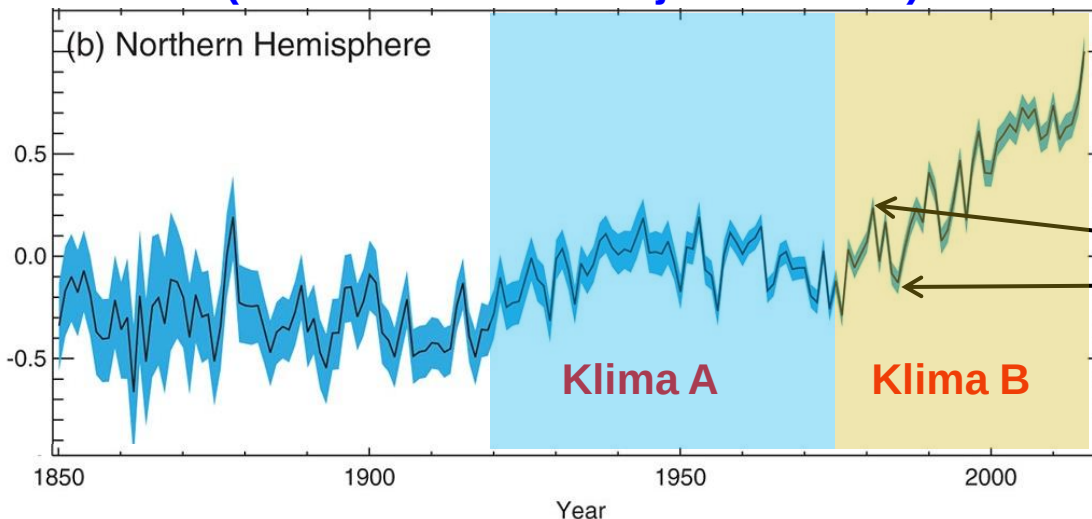
Međugodišnja varijabilnost

Ljetna oborina u Hrvatskoj 2009-2016



Klimatska varijabilnost i klimatske promjene

Godišnje anomalije temperature na sjev. hemisferi
(u odnosu na razdoblje 1961-1990)



Izvor: Kennedy
i sur., Weather
(2016)

- * **Klimatske varijacije** su razlike u vrijednostima klimatskih elemenata unutar razdoblja koja su kraća od klimatskog razdoblja
- * Klimatske varijacije ne ukazuju da je došlo do klimatske promjene
- * **Klimatske promjene** su značajne i trajne promjene u statističkoj razdiobi vremenskih pojava (dekade do milijuni godina)



Lokalna klima: opažene promjene 1961-1990 vs. 1971-2000



Dubrovnik		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Z	P	Lj	J	G
t (°C)	61-90	8.8	9.3	11.1	14.1	18.1	21.8	24.5	24.4	21.5	17.7	13.7	10.4	9.5	14.4	23.6	17.6	16.3
	71-00	9.2	9.4	11.1	13.8	18.3	22.0	24.6	24.8	21.4	17.6	13.3	10.3	9.7	14.4	23.8	17.5	16.3
tmax d ≥ 30°C vrući d.	61-90						1.1	5.8	6.1	0.6						13.0	0.6	13.6
	71-00						1.4	7.7	9.8	0.7						18.9	0.7	19.7
tmin d ≥ 20°C trop. n.	61-90					0.8	9.8	22.3	21.0	8.7	0.6				0.8	53.1	9.3	63.2
	71-00					1.3	11.1	23.4	23.1	9.0	1.1	0.1			1.3	57.6	10.2	69.0
R (mm)	61-90	130	117	108	92	66	61	36	79	93	132	151	136	386	266	176	376	1200
	71-00	98	98	93	91	70	44	28	73	86	120	142	120	316	255	145	349	1064
Rd≥0.1 (mm)	61-90	12.7	12.5	12.6	11.9	9.6	7.4	5.0	5.6	7.2	9.9	13.1	13.5	38.8	34.1	18.0	30.2	121
	71-00	11.2	11.2	11.2	12.0	9.4	6.4	4.7	5.1	7.2	10.8	12.4	12.0	34.4	32.5	16.3	30.4	114

Izvor: Zanimović i sur. (2008) Atlas klime Hrvatske (DHMZ)

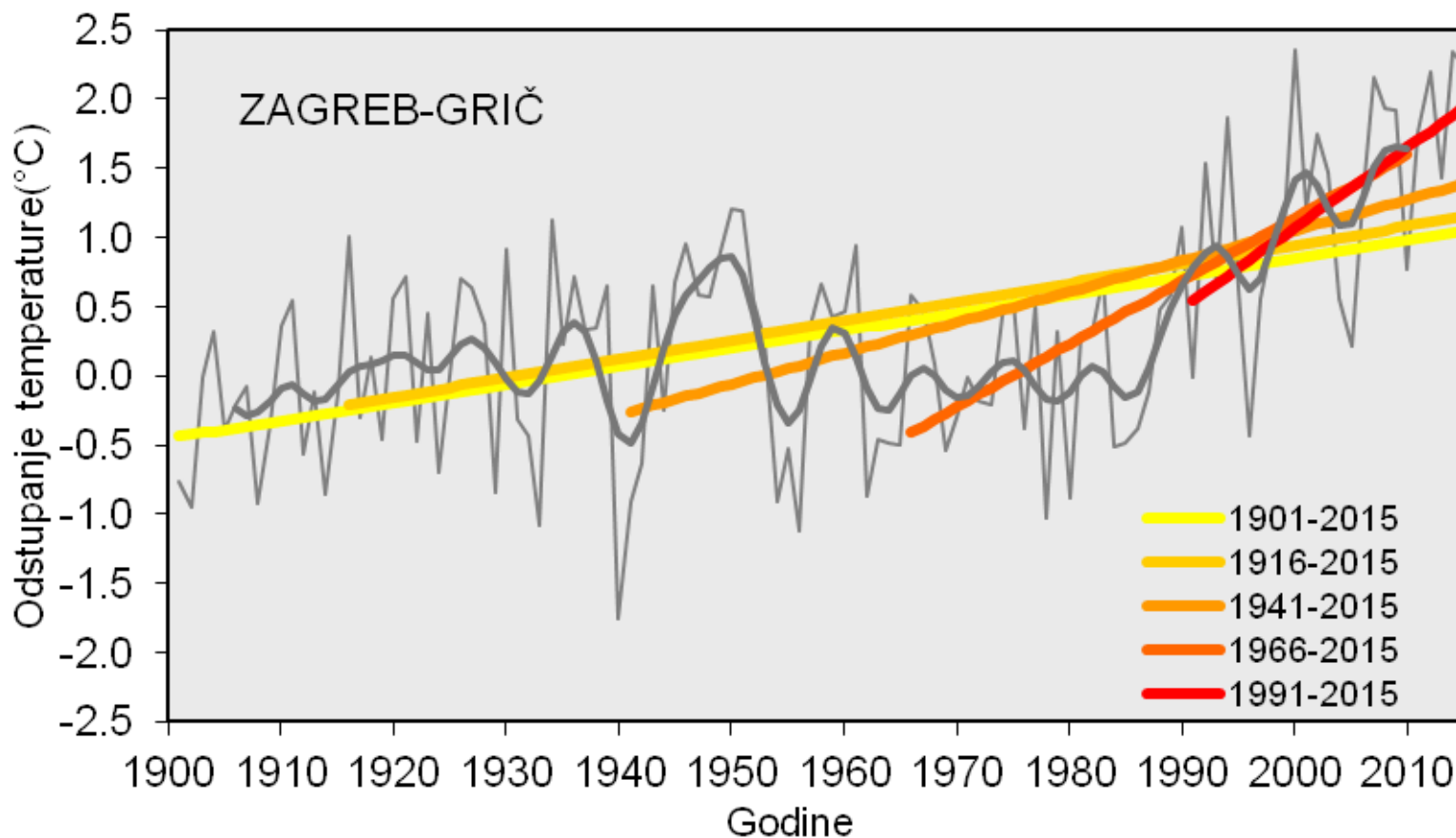
Ovaj projekt financira Europska unija

Sadržaj ove publikacije je isključiva odgovornost Eptisa Adria d.o.o. i ne predstavlja nužno stav Europske unije.



Opažene klimatske promjene (Zagreb-Grič)

Odstupanja godišnje temperature u odnosu na razdoblje 1961-1990

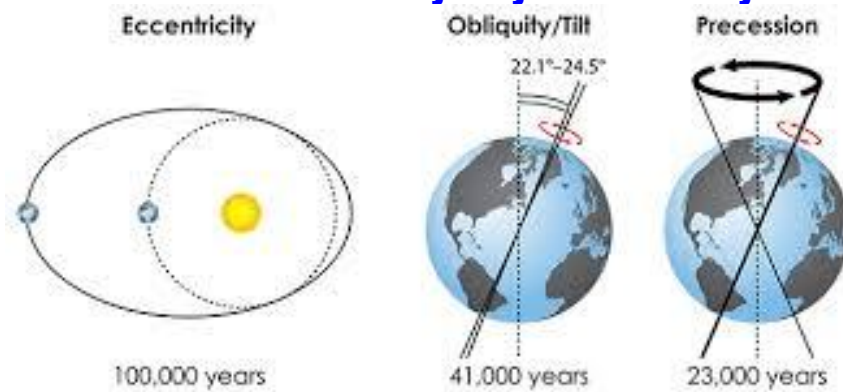


Autor: K. Zaninović (DHMZ)

Uzroci klimatskih promjena

* Promjene u energetskej ravnoteži Zemlje

- * **Prirodni uzroci:** - varijacije u sunčevom zračenju
- varijacije u rotaciji i orbiti Zemlje



Izvor:

uk.pinterest.com/explore/milankovitch-cycles/

- vulkanske erupcije ...

- * **Ljudski utjecaj:** - deforestacija
- korištenje zemljišta
- izgaranje fosilnih goriva ...

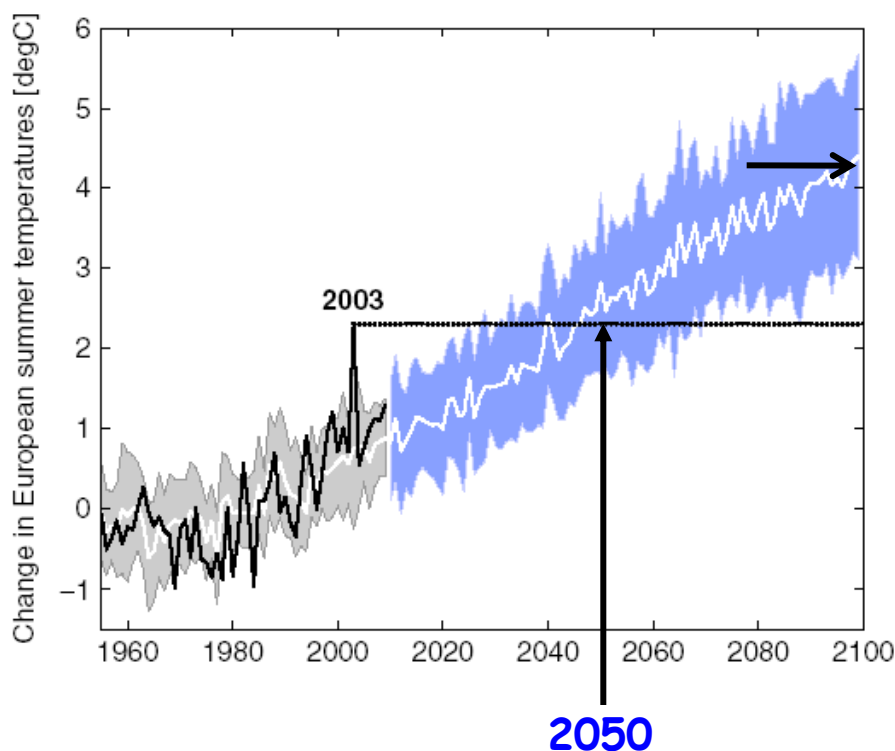
Zbog ljudskog utjecaja dolazi do povećanje razine plinova staklenika, aerosola, promjene u ozonskom omotaču, ...



Varijabilnost i ekstremni događaji u budućoj klimi

* Varijabilnost kao analog za budućnost

Promjena ljetne temperature u Europi



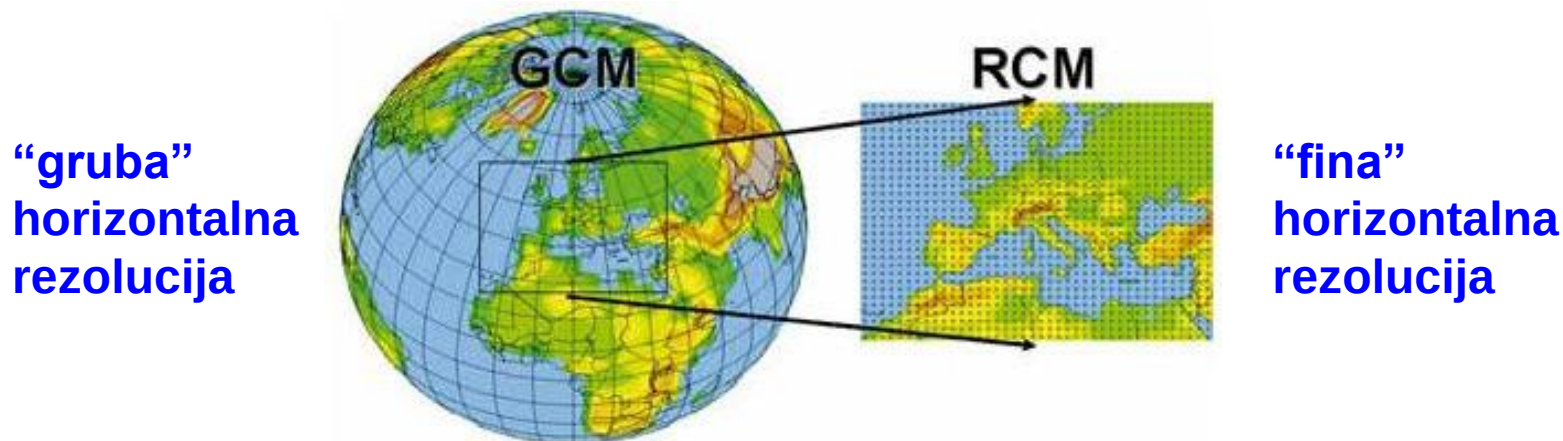
Koncem stoljeća ljeta u
Europi neće biti tako
hladna kao ljeto 2003

U 2050 će ljetna
temperatura iz 2003
biti **normalna**

Izvor: Hawkins, Weather (2011)

Modeliranje klime i klimatskih promjena - Klimatski modeli

- * Atmosfera je fluid u kojem vladaju zakoni fizike koji se mogu opisati matematičkim jednažbama
- * Primjena skupa takvih jednadžbi u praksi naziva se **model atmosfere**
- * Klimatski modeli mogu biti **globalni (GCM)** ili **regionalni (RCM)**



- * Zbog razmjerno grube rezolucije (150-250 km) **globalni modeli su neprikladni za istraživanje klime na lokalnim i regionalnim skalama**
- * RCM “ugniježđeni” u GCM: dobivaju početne i rubne uvjete od globalnih modela – **dinamička prilagodba (downscaling)**



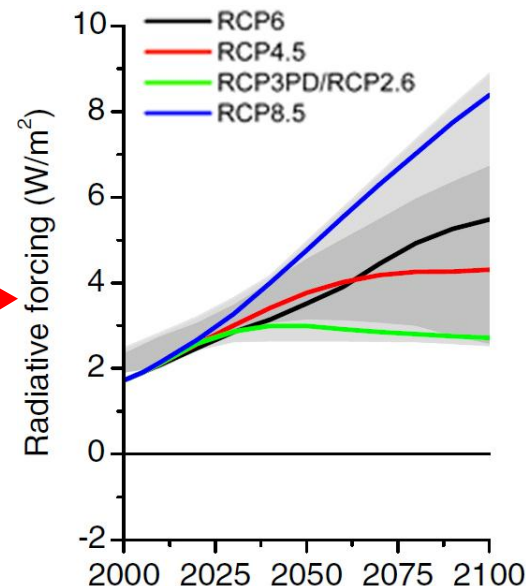
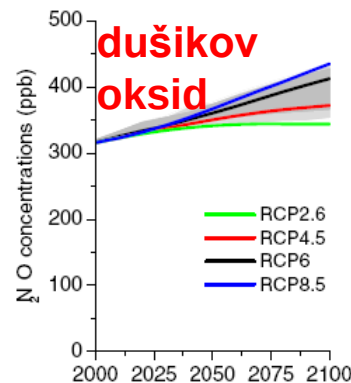
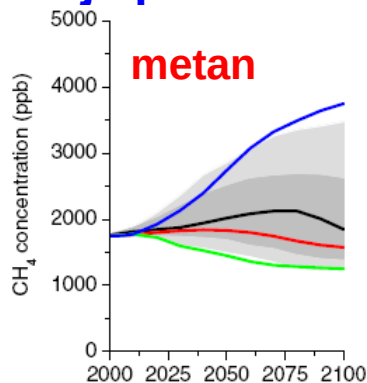
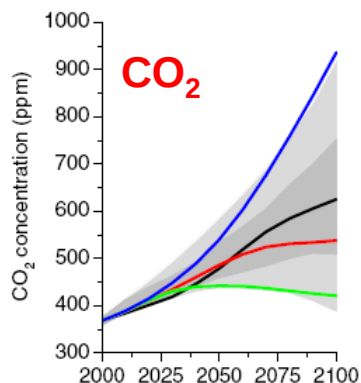
Modeliranje klime i klimatskih promjena - Klimatski modeli

- * Projekcije buduće klime (buduće stanje atmosfere) izračunava se pomoću atmosferskih (klimatskih) modela na **super-računalima** (HPC)
- * Regional Climate Model – **RegCM** (na DHMZ-u od 2003)
- * Super-računalo (klaster) **VELEbit** (SRCE):
 - 64 radna čvora s ukupno 1792 procesorske jezgre
 - 6 spremišnih čvorova
 - 220 TB standardnog spremišta
 - 12 TB brzog spremišta (SSD diskovi)
 - 44.4 TFLOPS-a
 - potrošnja energije 28 kW
- * **DHMZ tim** – Ivan Güttler, Lidija Srnec, Tomislav Stilinović



Modeliranje klime - Scenariji klimatske budućnosti

Trendovi koncentracije plinova staklenika u budućoj klimi



* RCP – representative concentration pathways:

2.6, 4.5, 6.0, 8.5

* Kumulativna mjera ukupne čovjekove emisije plinova staklenika u 2100.

* U RCP8.5 kontinuirani porast koncentracija plinova staklenika

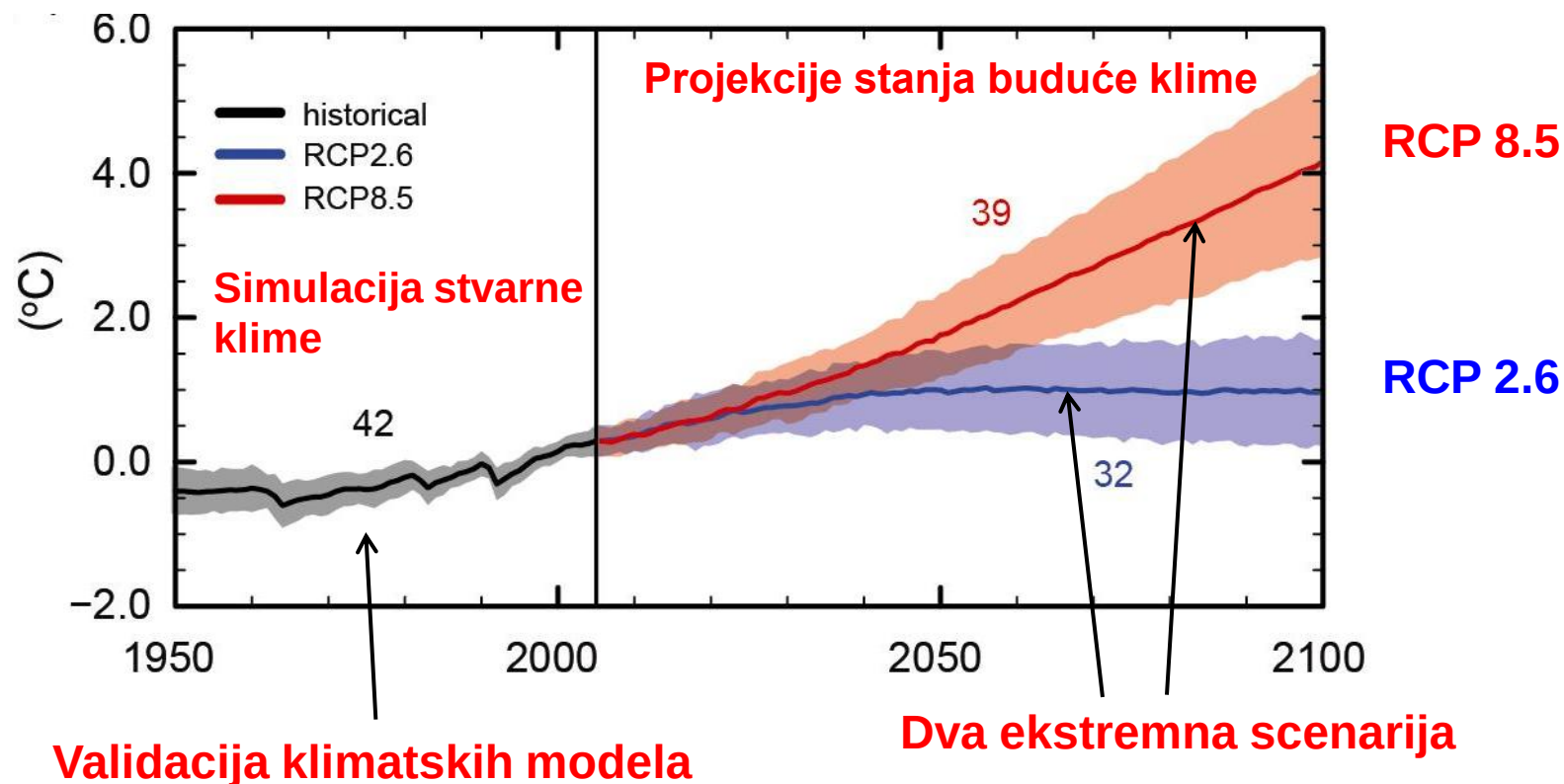
* U RCP4.5 i RCP2.6 stabilizirajući trend za koncentracije CO₂

Izvor: van Vuuren i sur., Climatic Change (2013)



Modeliranje klime i klimatskih promjena

Globalna promjena srednje temperature





Modeliranje klime i klimatskih promjena

- * Klimatski modeli su jedini “alat” kojim možemo **predvidjeti** buduće klimatske promjene
- * Uz modeliranje klime i klimatskih promjena vezane su mnoge **neizvjesnosti** (nesigurnosti)
 - **prirodna varijabilnost klimatskog sustava**
 - **nesavršenost klimatskih modela**
 - **nepoznavanje buduće koncentracije plinova staklenika - RCP2.6, 4.5, 6.0, 8.5**
- * Neizvjesnost u klimatskom modeliranju može se donekle ublažiti višestrukim ponavljanjem simulacija: više modela
više scenarija
više različitih početnih uvjeta

Ansambl (*ensemble*) simulacijâ i raspon mogućih stanja buduće klime



RCM rezultati (*output* regionalnih klimatskih modela)

- * **Osnovni klimatološki parametri:** prizemna temperatura, ukupna oborina, brzina vjetrova, tlak zraka, evapotranspiracija, vlažnost zraka, ukupna naoblaka, isparavanje, površinsko otjecanje, insolacija, ...
- * **Ali i:** dnevna max temperatura, dnevna min temperatura, konvektivna oborina, visoka (srednja, niska) naoblaka, komponente vjetrova, varijable na različitim visinama (temperatura, vlažnost, komponente vjetrova), pokrivenost snijegom, ...
- * **Primjena:**
 - broj dana s temperaturom $>$ ili $<$ od zadanog praga
 - toplinski valovi: broj dana s max temperaturom $>$ od zadanog praga
 - broj dana s količinom oborine $>$ ili $<$ od zadanog praga (vrlo kišni dani)
- * **Prikazi:**
 - godišnje, sezonske, mjesečne vrijednosti
 - karte, tablice (excel, ...)



REPUBLIKA HRVATSKA

MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE



eptisa
Adria d.o.o.

Temperatura zraka (srednjak ansambla)

RegCM, 50 km, RCP4.5

P0=1971-2000, P1=2011-2040, P2=2041-2070

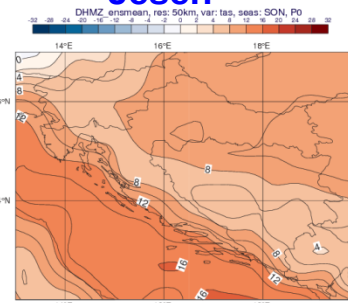
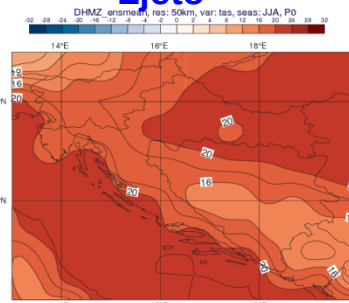
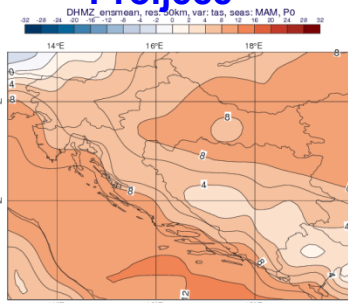
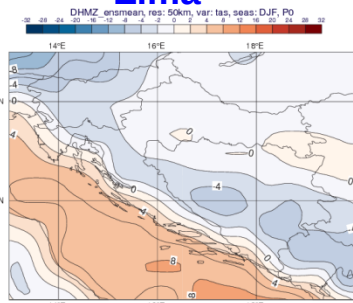
Zima

Proljeće

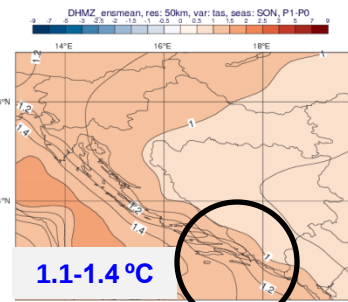
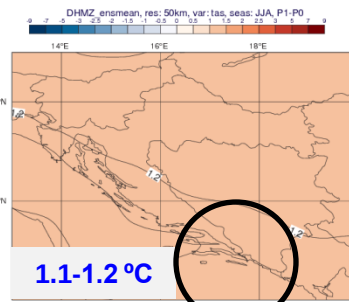
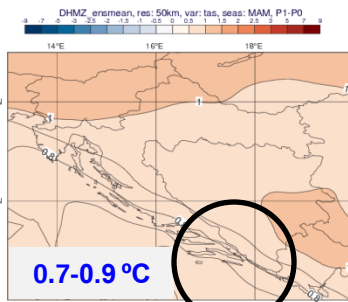
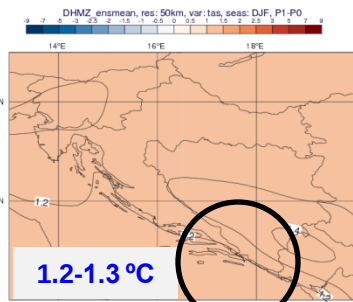
Ljeto

Jesen

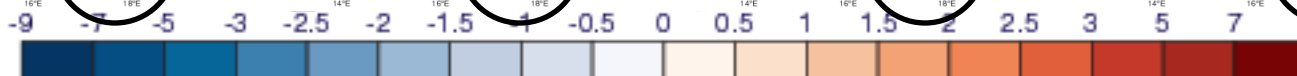
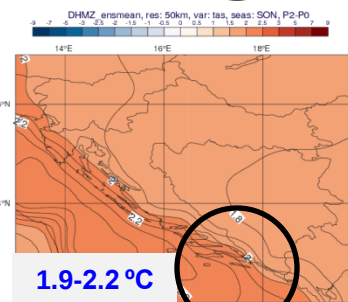
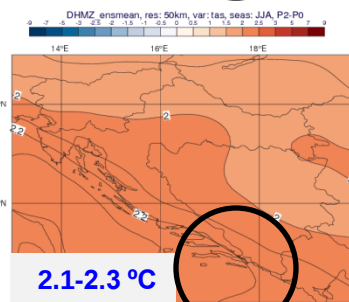
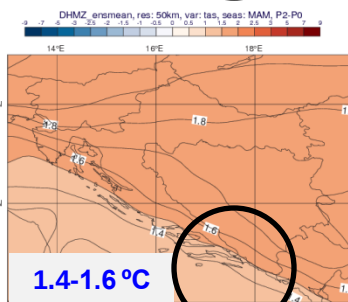
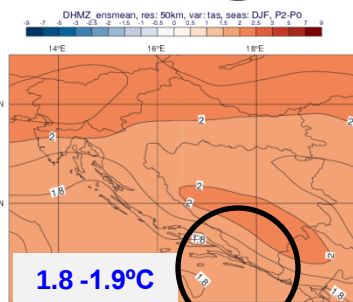
P0



P1-P0



P2-P0





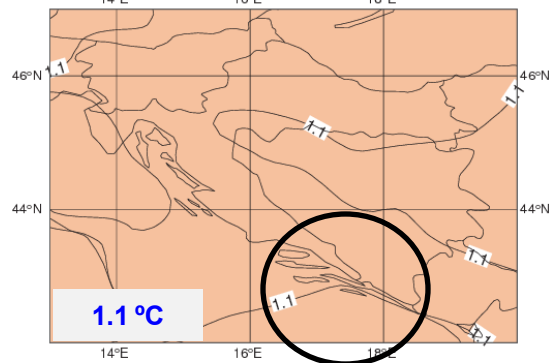
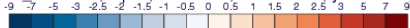
Promjena godišnje maksimalne temperature (srednjak ansambla)

RegCM, 50 km

P1=2011-2040, P2=2041-2070 (P0=1971-2000)

RCP4.5

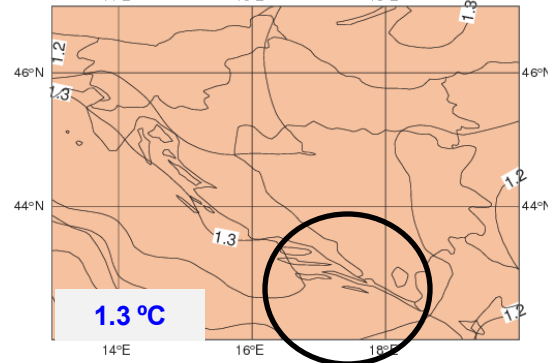
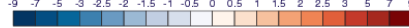
DHMZ_ensmean, rcp45, res: 50km, var: tasmax, year mean, P1-P0



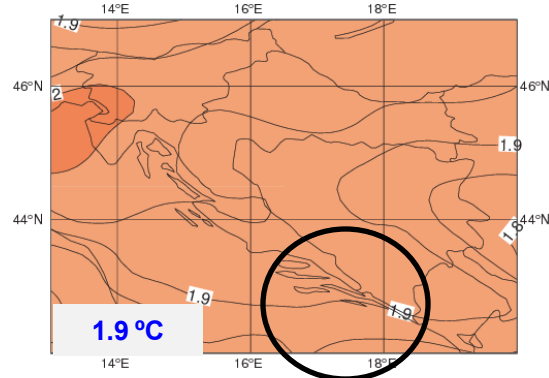
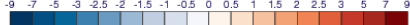
P1-P0

RCP8.5

DHMZ_ensmean, rcp85, res: 50km, var: tasmax, year mean, P1-P0

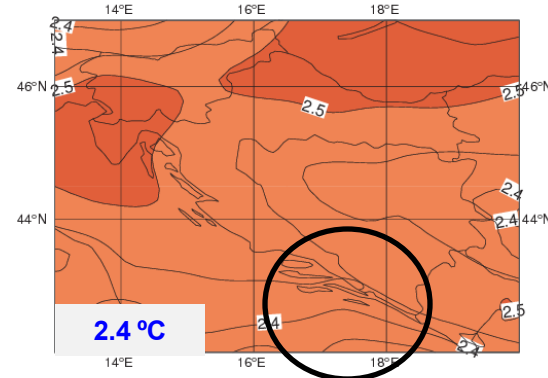
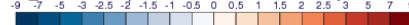


DHMZ_ensmean, rcp45, res: 50km, var: tasmax, year mean, P2-P0



P2-P0

DHMZ_ensmean, rcp85, res: 50km, var: tasmax, year mean, P2-P0



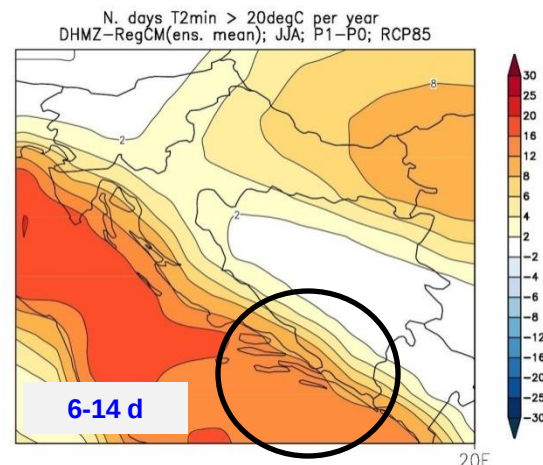
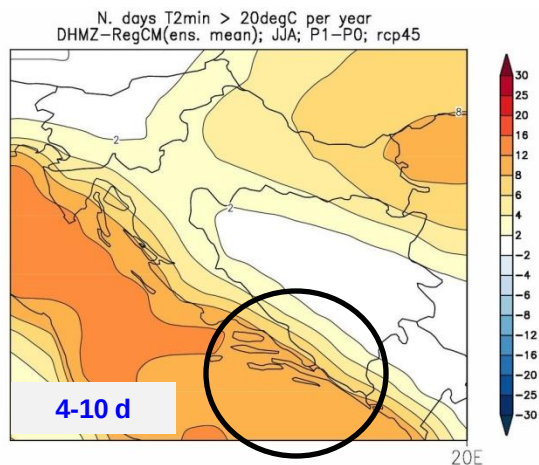


Promjena godišnjeg broja dana s $t_{min} > 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (tropske noći) RegCM, 50 km
(srednjak ansambla) P1=2011-2040, P2=2041-2070 (P0=1971-2000)

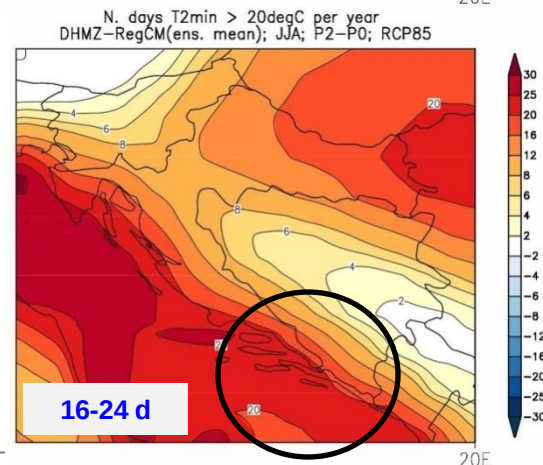
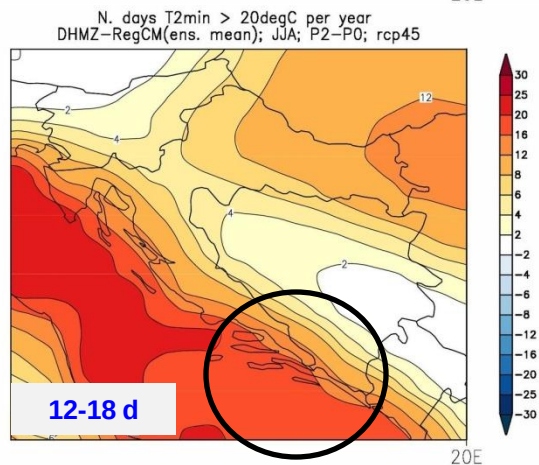
RCP4.5

RCP8.5

P1-P0



P2-P0





Prijelazni instrument
Europske unije za Hrvatsku

STRATEGIJA PRILAGODBE KLIMATSKIM PROMJENAMA

*Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike
za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema
Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama*

www.prilagodba-klimi.hr



REPUBLIKA HRVATSKA
MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE

eptisa
Adria d.o.o.